

шероховатостью. Шероховатость затрудняет смещение доменных стенок, и возникающие из-за нее поля рассеяния могут приводить к дисперсии намагниченности, в результате чего на петлях наблюдаются участки, характерные для вращения намагниченности.

Список публикаций:

- [1] Y. Yoshizawa // *J. Appl. Phys.*, 64, 6044 (1988).
- [2] G. Herzer // *Mater. Sci. Eng. A*, 133, 1 (1991).
- [3] W. Wang // *Thin Solid Films*, 484, 299 (2005).

## **Реализация обменного смещения в тонких пленках $\text{Ni}_x\text{Mn}_{100-x}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$**

**Москалев Михаил Евгеньевич**

*Лепаловский Владимир Николаевич, Кулеш Никита Александрович, Васьковский Владимир Олегович*

*Уральский федеральный университет*

*Лепаловский Владимир Николаевич, к.ф.-м.н.*

*[moskalyov\\_m@mail.ru](mailto:moskalyov_m@mail.ru)*

Тонкие пленки являются одной из удивительных наносистем, столь активно изучаемых в наше время. Их толщины  $L$ , как правило, не превышают сотен нанометров, что приводит к необычным свойствам и, следовательно, новым (по сравнению с массивными материалами) областям применения. Магнитные тонкие пленки, в силу электростатических обменных взаимодействий, позволяют путем простого комбинирования слоев менять их магнитные свойства. Яркий пример – многослойные пленки, в которых соседствуют слои ферромагнитных (ФМ) и антиферромагнитных (АФМ) материалов. В интерфейсе такой системы происходит обменное взаимодействие между спинами ФМ и АФМ электронов. Как следствие, анизотропия может вести себя нестандартным образом – быть однонаправленной. Это явление принято называть обменным смещением, так как петля гистерезиса такой структуры может быть смещена относительно нулевого внешнего магнитного поля.

Обменное смещение выступает основополагающим фактором для многих практических применений. В их ряду спиновые клапаны и магнитные туннельные переходы, обширное использование находят магниторезистивные и магнитоимпедансные датчики. Стоит отметить, что для всех этих систем есть естественный ограничитель их применимости. В силу зависимости магнитного упорядочения от тепловых движений, при некоторой температуре  $T_B$ , называемой температурой блокировки, обменное смещение пропадает.

Практической задачей является поиск систем с более высоким значением  $T_B$ . Этот параметр в первую очередь зависит от материала АФМ. Эксперименты указывают, что системы с АФМ слоем Ni-Mn более устойчивы к высоким температурам. Однако, из-за специфики получения тонких пленок, Ni-Mn имеет тенденцию к формированию парамагнитной ГЦК-структуру. Антиферромагнетизм же проявляется при формировании ГЦТ-структуры. Реализация нужной ГЦТ-структуры возможна после отжига пленок в технологическом магнитном поле.

Изучаемые образцы  $\text{Ta}(5)/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(40)/\text{Ni}_x\text{Mn}_{100-x}(20)/\text{Ta}(5)$  были получены методом магнетронного распыления на установке ORION-8 (в скобках указаны толщины слоев в нм). Содержание Ni  $x$  в слое Ni-Mn варьировалось от 15 до 75%. Контроль состава осуществлялся с помощью рентгеновского флуоресцентного спектрометра Rigaku Nanohunter. Для изучения влияний термомагнитной обработки и формирования ГЦТ-структуры Ni-Mn, образцы подвергались отжигу длительностью  $t=1$ ч при температурах  $T_A$  от 250 до 400°C.

На *рис. 1*. представлены петли гистерезиса образца с  $x=40\%$  до (а) и после (б) отжига, полученные магнитооптическим методом. Сдвиг петли гистерезиса принято называть полем смещения  $H_{EX}$ , коэрцитивная сила  $H_C$  такого образца отсчитывается от  $H_{EX}$ . Можно заметить, что отжиг привел не только к появлению  $H_{EX}$ , но и к росту  $H_C$  образца. Это может быть связано с диффузией компонент в соседние слои. Этот вопрос требует дополнительных исследований с применением рентгеноструктурного анализа.

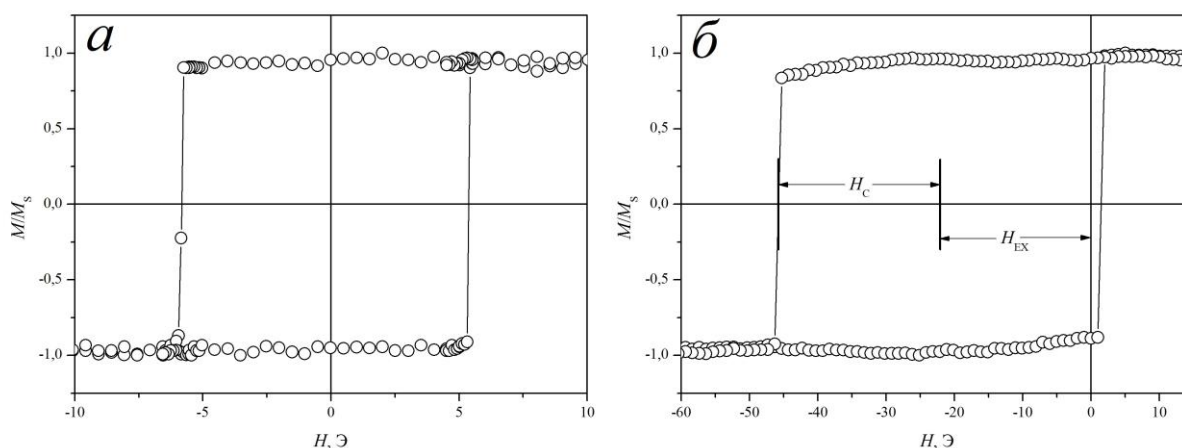


рис.1. Петли гистерезиса образца  $Ta/Fe_{20}Ni_{80}/Ni_{40}Mn_{60}/Ta$  до (а) и после (б) отжига при  $T_A=300^\circ C$ .

Зависимости  $H_{EX}$  (а) и  $H_C$  (б) от  $T_A$  (рис. 2) для различных концентраций Ni в слое Ni-Mn указывают на то, что оптимальная температура отжига  $T_A=300^\circ C$ . Дальнейшее повышение  $T_A$  ведет к сильному росту  $H_C$ , что вновь говорит об активной диффузии слоев, ускоряющейся с повышением температуры отжига  $T_A$ .

Дальнейшие исследования направлены на изучение анизотропии АФМ слоя Ni-Mn. Это позволит объяснить характер представленных зависимостей и понять фундаментальные причины реализации обменного смещения в пленках на основе Ni-Mn.

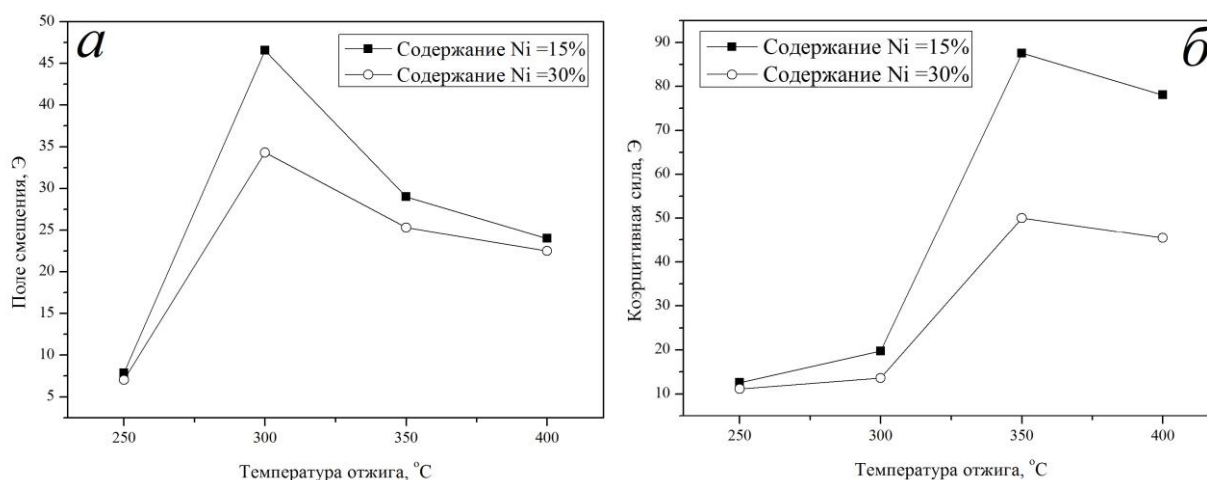


рис.2. Зависимость величины поля смещения  $H_{EX}$  (а) и коэрцитивной силы  $H_C$  (б) от температуры отжига  $T_A$ . представлены зависимости для концентраций Ni  $x=15\%$  и  $x=30\%$  в слое Ni-Mn.

Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации, проект RFMEFI57815X0125.

## Мёссбауэровская спектроскопия с высоким скоростным разрешением соединений $Ce(Fe_{1-x}Si_x)_2$

**Наумов Сергей Павлович**

Мушников Николай Варфоломеевич, Оштрах Михаил Иосифович

Институт физики металлов УрО РАН, Уральский федеральный университет

Мушников Николай Варфоломеевич, д.ф.-м.н., акад. РАН

[Naumov\\_sp@imp.uran.ru](mailto:Naumov_sp@imp.uran.ru)

Соединение  $CeFe_2$  имеет структуру кубической фазы Лавеса  $Fd\bar{3}m$  и является ферромагнетиком с температурой Кюри  $T_C = 235$  К. В основном ферромагнитном состоянии  $CeFe_2$  наблюдаются антиферромагнитные флуктуации [1], стабилизация антиферромагнетизма при низких температурах достигается замещением части атомов Fe атомами других элементов (Si, Ga, Ru, Al и др.). Причем, переход